

	Mídias Integradas: sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVA e outras.
	Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.
	Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.

Palavra do Professor

Caro aluno, a disciplina de Eletricidade Básica irá te auxiliar e lhe dará base em várias outras disciplinas do curso Técnico.. É de grande importância você aprender os principais conceitos e definições da Eletricidade para que você possa avançar o seu curso e conseguir cursar as outras disciplinas, como por exemplo, Instalações Elétricas.

A Eletricidade está presente em nosso dia a dia! Não podemos viver sem ela. Então, cabe a você, aluno, estudar bastante e se dedicar para aprendê-la e saber aplicá-la. Não podemos estudar Eletricidade sem aprender os princípios básicos da Física, os quais permitem que você tenha uma compreensão mais ampla da tecnologia que está presente em nosso cotidiano e como lidar com situações reais. Essa disciplina irá te permitir utilizar com mais segurança e eficiência os recursos tecnológicos, interpretar manuais, instruções técnicas, dentre outras coisas.

Esse curso irá lhe proporcionar trabalhar em várias áreas produtivas dentro de uma empresa.

Iremos trabalhar nessa disciplina com estrutura atômica dos materiais, as grandes diferenças dos condutores, semicondutores e isolantes. Iremos apresentar os principais elementos de um circuito elétrico, introduzir os circuitos de corrente contínua e mostrar quais são os principais instrumentos de medição. Por fim, iremos estudar o campo eletromagnético. Vale lembrar que essa disciplina é introdutória, mas caso você queira se aprofundar mais, as referências bibliográficas estão presentes para lhe ajudar.

Caso você tenha dúvidas no andamento da matéria, o que é natural, procure o professor ou o tutor da disciplina para lhe auxiliar. O bom aprendizado só depende de você! Então, vamos lá e nunca desista dos seus sonhos!

Bom estudo!

Projeto Instrucional

Disciplina: Eletricidade I (carga horária: 60h).

Ementa: Estrutura atômica: camadas de elétrons, condutores, semicondutores e isolantes. Carga elétrica e eletrização de corpos. Eletricidade: corrente CC e CA, tensão, resistência elétrica e capacitor. Introdução aos circuitos elétricos de corrente contínua. Medidas elétricas: conceitos de medição em CC e CA, valores de pico e eficaz. Energia estática. Campo eletromagnético.

AULA	OBJETIVOS	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA
1 - Estrutura atômica, energia estática, campo elétrico e potencial elétrico.	<p>Compreender a estrutura atômica da matéria. Estudar todos os processos de eletrização de um determinado corpo. Aprender o conceito e as diferenças existentes entre os condutores, semicondutores e isolantes e a distribuição eletrônica dos elétrons em níveis energéticos.</p> <p>Compreender a lei de Coulomb e o conceito de campo elétrico, bem como a representação das linhas desse campo. Estudar o potencial elétrico, a energia potencial e como essa energia está associada à força elétrica.</p>	Caderno e Referências Bibliográficas	8 horas
2 - Conceitos básicos da eletricidade	<p>Estudar a diferença entre corrente contínua e corrente alternada. Aprender o conceito de valor médio, valor eficaz, força eletromotriz, potência e as características dos principais elementos de um circuito: resistência elétrica e capacitores. Compreender os conceitos de condutividade elétrica e de resistividade elétrica e como a resistividade pode variar com a temperatura.</p>	Caderno e Referências Bibliográficas	8 horas
3 - Introdução aos Circuitos CC	<p>Estudar os circuitos de corrente contínua, onde o sentido da corrente não varia com o tempo. Aprender como calcular um valor de tensão, corrente e resistência. Aprender a determinar a resistência equivalente e a capacitância equivalente os quais podem estar dispostos no circuito de forma paralela ou em série.</p>	Caderno e Referências Bibliográficas	8 horas
4 - Campo Eletromagnético	<p>Estudar o magnetismo que está presente em vários mecanismos no nosso dia a dia, tais como: máquinas elétricas, computadores, micro-ondas, etc. Compreender os conceitos de força magnética e fluxo magnético, bem como estudar várias aplicações do campo magnético.</p>	Caderno e Referências Bibliográficas	8 horas

Aula 1 - Estrutura Atômica, Campo Elétrico e Potencial Elétrico

Objetivos

Compreender a estrutura atômica da matéria. Estudar todos os processos de eletrização de um determinado corpo. Aprender o conceito e as diferenças existentes entre os condutores, semicondutores e isolantes e a distribuição eletrônica dos elétrons em níveis energéticos. Compreender a lei de Coulomb e o conceito de campo elétrico, bem como a representação das linhas desse campo. Estudar o potencial elétrico, a energia potencial e como essa energia está associada à força elétrica.

1.1 - Carga Elétrica e Estrutura da Matéria

A carga elétrica, assim como a massa, é uma das principais propriedades das partículas que constituem a matéria. As interações responsáveis pelas propriedades e pela estrutura dos átomos e das moléculas são basicamente decorrentes das interações elétricas entre partículas que possuem cargas elétricas (YOUNG, *et. al.*, 2009). Hoje sabemos que a explicação da natureza da eletricidade vem da estrutura da matéria que são os átomos.

A estrutura dos átomos pode ser descrita com base em três partículas elementares, quais sejam: o elétron, que possui carga elétrica negativa; o próton, carga elétrica positiva, e o nêutron, que não possui carga elétrica.

A matéria é constituída por átomos que são eletricamente neutros. Cada átomo tem um pequeno núcleo, porém de grande massa, que contém prótons e nêutrons. Em torno do núcleo encontram-se os elétrons que totaliza a mesma carga elétrica que o núcleo, porém negativa, como pode ser visualizada na Figura 1.1. O elétron e o próton são partículas muito diferentes.

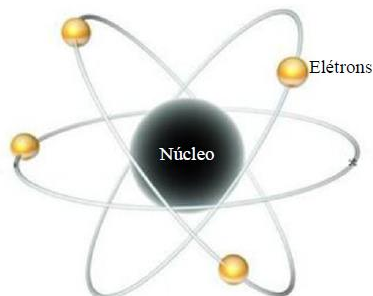


Figura 1.1 - Estrutura do átomo

As massas das partículas individuais são iguais a:

- Massa do elétron: $9,1093897 \times 10^{-31}$ Kg
- Massa do próton: $1,6726231 \times 10^{-27}$ Kg
- Massa do nêutron: $1,6749286 \times 10^{-27}$ Kg

O próton tem massa 2000 vezes maior que a do elétron. A carga do próton é designada por **e** e a do elétron de **e**, onde **e** é a unidade fundamental de carga. Os elétrons são mantidos no interior de um átomo pela força de atração elétrica entre o núcleo positivo e os elétrons. Todas as cargas, designadas por **Q**, que podem aparecer na natureza são múltiplas da unidade fundamental de carga **e**. Assim:

$$Q = \pm N \cdot e$$

onde, a unidade SI de carga elétrica é o coulomb (C) e a unidade fundamental da carga elétrica **e** é igual a $1,60 \times 10^{-19}$ C. Assim, *coulomb* é a quantidade de carga elétrica que passa pela área da seção transversal de um fio condutor, em um segundo, e **N** é o número de elétrons.

Em seu estado natural, todo átomo tem o mesmo número de prótons e elétrons, ou seja, é eletricamente neutro.



<http://www.youtube.com/watch?v=gUGh-oRIrb0>

Quando dizemos que um determinado corpo está com "carga negativa", considerando os prótons com carga elétrica positiva e os elétrons com carga elétrica negativa, então, estamos querendo dizer que esse corpo está com maior número de elétrons do que de prótons. De maneira contrária, outro corpo com carga positiva queremos dizer que o número de prótons é maior que o número de elétrons.

Como os elétrons estão na eletrosfera, eles são facilmente removíveis. Assim quando removemos um ou mais elétrons do átomo neutro, a carga elétrica positiva resultante constitui um íon positivo; quando um átomo ganha um ou mais elétrons temos o íon negativo. O processo no qual o átomo ganha ou perde elétrons é denominado de ionização. Quando o número total de prótons for igual ao número total de elétrons, a carga total é igual a zero; então, dizemos que o corpo está eletricamente neutro. Assim, podemos definir um princípio muito importante na física o qual é conhecido como princípio da conservação da carga elétrica.

Esse princípio diz que a soma algébrica de todas as cargas elétricas existentes em um sistema isolado permanece sempre constante, ou seja, a carga elétrica se conserva. Quando atritamos dois corpos, não há criação de carga, apenas transferência de elétrons entre eles. Assim, podemos dizer que a carga líquida dos dois corpos atritados em conjunto não se altera.



<http://www.youtube.com/watch?v=cuVvgkY39oU&NR=1>

1.2 - Processo de Eletrização

Dizemos que um corpo está eletrizado quando o número de elétrons é diferente do número de prótons. Assim, podemos definir os processos de eletrização tais como:

- Eletrização por atrito
- Eletrização por contato
- Eletrização por indução

1.2.1 - Eletrização por Atrito

Alguns materiais possibilitam a migração da carga elétrica de uma região para outra, enquanto outros impedem o movimento das cargas elétricas. Inicialmente vamos considerar dois bastões de vidro, sem terem sido atritados, os quais não se atraem e nem se repelem, tal como ilustrado na Figura 1.2a. Quando atritamos uma seda e um bastão de vidro, tal como ilustrado na Figura 1.2b, percebemos que o vidro atrai a seda e vice-versa. Assim, ocorre uma transferência de elétrons do vidro para a seda. O vidro perde elétrons, ficando carregado positivamente, e a seda, que recebe os elétrons, fica com carga negativa. Vamos agora, então, suspender o bastão, para isolá-lo eletricamente do seu entorno, de modo que a sua carga não possa variar. Se aproximarmos um segundo bastão, carregado da mesma forma, percebemos, agora, que os bastões se repelem, ou seja, cada bastão fica sujeito a uma força que o afasta do outro bastão, tal como ilustrado na Figura 1.2c.

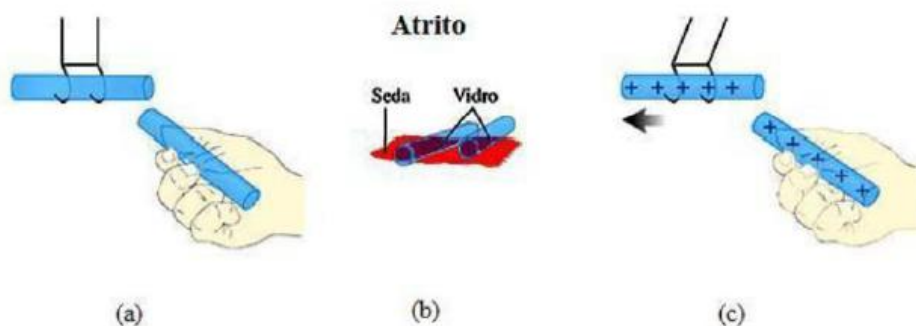


Figura 1.2 - Eletrização por atrito

Da análise dessas informações, podemos concluir que duas cargas positivas se repelem e duas cargas negativas também se repelem, enquanto que, cargas com sinais opostos se atraem.



Cargas com sinais iguais se repelem, enquanto que, cargas com sinais contrários se atraem.

1.2.2 - Eletrização por Contato

Sejam duas esferas metálicas, designadas por *A* e *B*, conforme ilustrado na Figura 1.3a. Considere a esfera *A* carregada positivamente, enquanto a esfera *B* está neutra. Quando colocamos as duas em contato, tal como ilustrado na Figura 1.3b, a esfera *B* tende a neutralizar *A*, com a transferência de elétrons de *B* para *A*, até que as duas atinjam a mesma carga, como pode ser visualizado na Figura 1.3c. Dessa forma, ocorre a eletrização por contato.

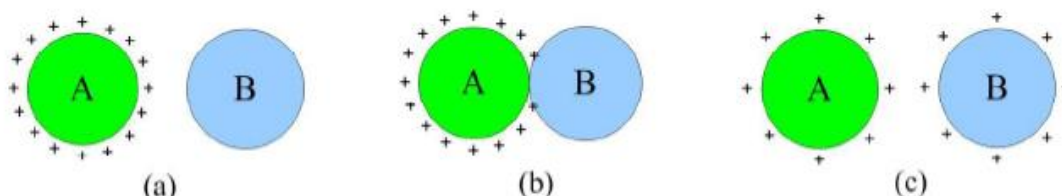


Figura 1.3 - Eletrização por contato

1.2.3 - Eletrização por Indução

Considere uma esfera metálica apoiada sobre um suporte isolante, como ilustrado na Figura 1.4a. Um bastão carregado negativamente, ao se aproximar da esfera, mesmo que o bastão não toque na esfera, os elétrons livres da esfera metálica são repelidos pelo excesso de elétrons do bastão e descolados para a direita da esfera, afastando-se do bastão. Podemos dizer que em cada lado da esfera surgiu uma carga induzida, como visualizado na Figura 1.4b. Quando ainda mantivermos o bastão próximo da esfera e ligarmos um fio condutor sobre o lado direito da esfera, e em contato com a terra, muitas cargas negativas fluem através do fio para a terra, tal como ilustrado na Figura 1.4c. Se nesta situação removermos o fio condutor, uma carga líquida positiva ficará sobre a esfera. Assim, a esfera metálica ficará carregada por indução, como pode ser visualizado na Figura 1.4 e (Tipler, 1995).

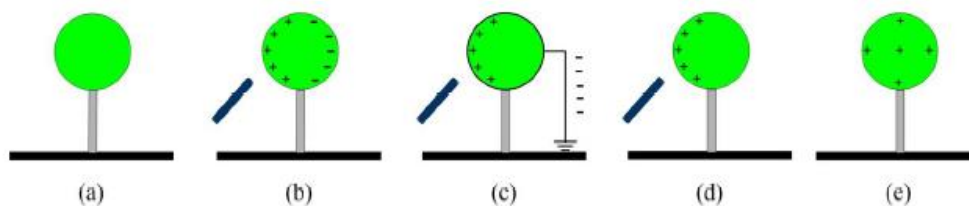


Figura 1.4 - Eletrização por indução



Quando um corpo é eletrizado, não há destruição nem criação de cargas elétricas. Na verdade o que acontece é que as cargas elétricas passam de um corpo a outro através da eletrização por atrito ou contato ou então, ocorre a eletrização por indução, onde as cargas se separam dentro do corpo.



<http://www.youtube.com/watch?v=klUADgHQDQk&feature=related>

1.3 - Condutores, Semicondutores e Isolantes

Em alguns materiais, como o cobre e outros metais, alguns elétrons presentes podem se deslocar no material. Estes materiais são chamados de condutores. Em outros materiais, como por exemplo, o vidro e a madeira, todos os elétrons presentes estão ligados a átomos e não podem mover livremente. Estes materiais são conhecidos como isolantes. A Figura 1.5 ilustra um fio de cobre comercial revestido com isolante.

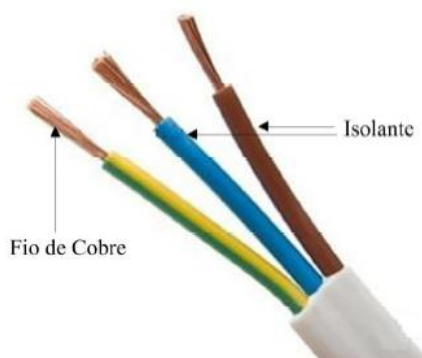


Figura 1.5 - Fio condutor

O cobre é um bom condutor. Analisando sua estrutura, conforme Figura 1.6, percebemos que o núcleo contém 29 prótons. Quando um átomo de cobre tem uma carga neutra, podemos dizer que 29 elétrons orbitam o núcleo pela atração eletrostática entre os elétrons, onde esses têm carga elétrica negativa, e o núcleo, carga elétrica positiva. Os elétrons mais externos estão ligados mais fracamente, não só pela maior distância ao núcleo, mas também pela repulsão provocada pelos elétrons mais internos (Malvino, 2001).

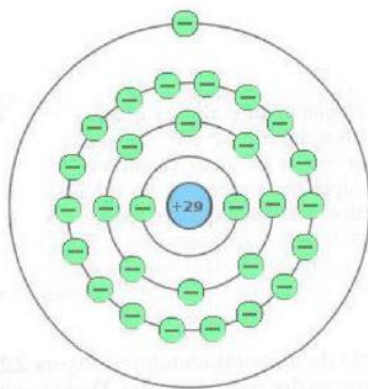


Figura 1.6 - Estrutura do cobre

Quando um grande número de átomos de cobre, por exemplo, organiza-se numa amostra de cobre metálico, a ligação dos elétrons de cada átomo se altera em virtude das interações dos átomos vizinhos. Um, ou mais de um, entre os elétrons externos de cada átomo, não mais estão ligados ao núcleo, mas tem a liberdade de se deslocar por toda a amostra do metal. O átomo de cobre, desprovido de um dos seus elétrons externos, tem uma carga positiva e é um íon positivo, como já introduzido anteriormente. Em situação normal, um condutor é eletricamente neutro, pois a cada íon de uma configuração regular com uma carga positiva $+e$ corresponde um elétron livre com a carga negativa e . Um condutor pode ter uma carga líquida diferente de zero pela adição ou remoção de elétrons livres (Tipler, 1995).

Continuando a análise da Figura 1.6 podemos ver que a parte central de um átomo de cobre tem 29 prótons e nas suas três primeiras órbitas tem 28 elétrons internos. A órbita externa é também chamada de órbita de valência. Assim, o elétron de valência é levemente atraído pela parte central, uma força externa pode facilmente deslocar esse elétron livre do átomo de cobre. Por isso, podemos dizer que o átomo de cobre é um bom condutor. Isso permite que o elétron livre num fio de cobre circule de um átomo para outro. Os melhores condutores possuem um simples elétrons de valência, como por exemplo, a prata, o cobre e o ouro (MALVINO, 2001).

Um condutor permite que ocorra o movimento de cargas elétricas através dele, enquanto um isolante não ocorre esse movimento. Em um isolante não existe praticamente nenhum elétron livre, e a carga elétrica não pode ser transferida através do material.

Como já introduzido anteriormente, os elétrons se movimentam ao redor do núcleo do átomo em trajetórias circulares. Assim, essas trajetórias podem ser chamadas de faixas ou níveis os quais possuem um determinado valor de energia, onde o elétron pode transitar. Os elétrons com maiores níveis de energia são conhecidos como elétrons de valência, estão situados na banda de valência, ou seja, na camada mais afastada do núcleo do átomo. Se forem permitidos maiores níveis de energia na banda de valência, ou se a banda de valência se unir suavemente com a banda de condução, ocorre um fluxo de elétrons, como pode ser visualizado na Figura 1.7a. Neste caso, temos um condutor metálico.

Mas, se o elétron com o maior nível de energia ocupar o nível do topo da banda de valência e existir uma grande banda proibida entre a banda de valência e a banda de condução, então, o elétron não pode receber energia adicional, assim o material passa a ser conhecido como isolante, tal como ilustrado na Figura 1.7b (MALVINO, 2001).

Também ocorre uma condição intermediária quando somente uma pequena região proibida separa as duas bandas. Pequenas quantidades de energia na forma, por exemplo, de calor pode aumentar a energia dos elétrons do topo da banda preenchida e fornecer a base para condução. Estes materiais são conhecidos como semicondutores, como por exemplo, o silício e o germânio (MALVINO, 2001). A zero grau Kelvin, o semicondutor se comporta como um isolante perfeito, mas devido à pequena camada proibida, a agitação térmica do aumento da temperatura é capaz de fazer com que os elétrons da banda de valência pulem para a banda de condução, como pode ser visualizado na Figura 1.7c.

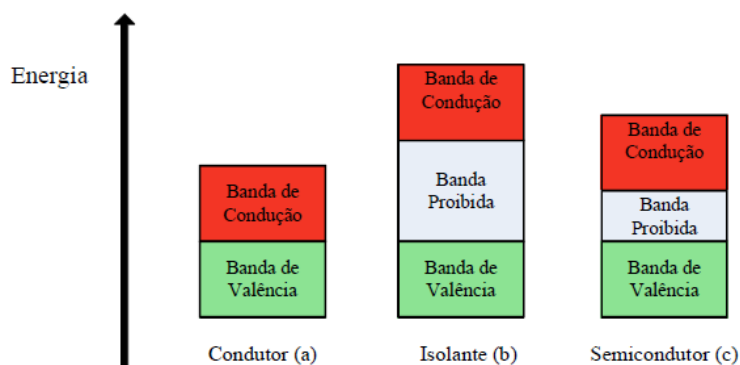


Figura 1.7 - Bandas de energia em três diferentes materiais a 0° Kelvin

1.4 - Lei de *Coulomb*

No fim do século XVIII, *Charles Augustin Coulomb* realizou várias experiências que permitiu estudar a força de interação entre partículas carregadas. Seja duas partículas de cargas (pontuais) com intensidade de carga q_1 e q_2 separadas por uma distância r . A força eletrostática de atração ou repulsão entre elas possui a intensidade igual a:

$$F = \frac{k \cdot |q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$



A força é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas.

A unidade SI da força é o *newton* (N). A constante k mostra a influência do meio onde a experiência é realizada. No vácuo, utilizando as unidades do SI, seu valor é igual a:

$$k \cong 8,988 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

Coulomb conclui com suas experiências que a intensidade da força elétrica é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa. Assim, cada partícula exerce uma força sobre a outra. Se as partículas se repelem, a força que age sobre cada partícula está na direção contrária a da outra partícula, como mostra a Figuras 1.8a e 1.8b. Caso contrário, a força que age sobre cada partícula está no sentido da outra partícula, como mostra a Figura 1.8c.

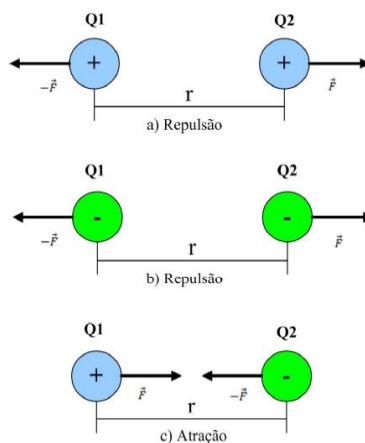


Figura 1.8 - Duas partículas carregadas e separadas por uma distância r

A constante k é normalmente escrita como:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

A grandeza ϵ_0 é chamada de constante de permissividade e é igual a:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

Assim, a lei de Coulomb se transforma em:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$



<http://www.youtube.com/watch?v=MURbr0sD8uc&feature=related>

1.5 - Campo Elétrico

Vamos considerar dois corpos designados por A e B com cargas positivas, como mostra a Figura 1.9a. Suponhamos que B possua uma carga q_0 e seja a força elétrica que A exerce sobre B . Se removermos o corpo B e designarmos como P o ponto por ele ocupado, e considerarmos somente o corpo A , dizemos que o corpo A produz um campo elétrico no ponto P , tal como ilustrado na Figura 1.9b. Esse campo elétrico existe mesmo quando não existe nenhuma carga em P . Quando a carga q_0 é novamente colocada em seu lugar, como ilustrado na Figura 1.9c, ela sofre a ação da força elétrica. Consideramos, então, que essa força é exercida sobre a carga q_0 (carga de teste) pelo campo elétrico no ponto P . Assim, o campo elétrico é intermediário para comunicar a força que A exerce sobre q_0 (Young, et. al., 2009).

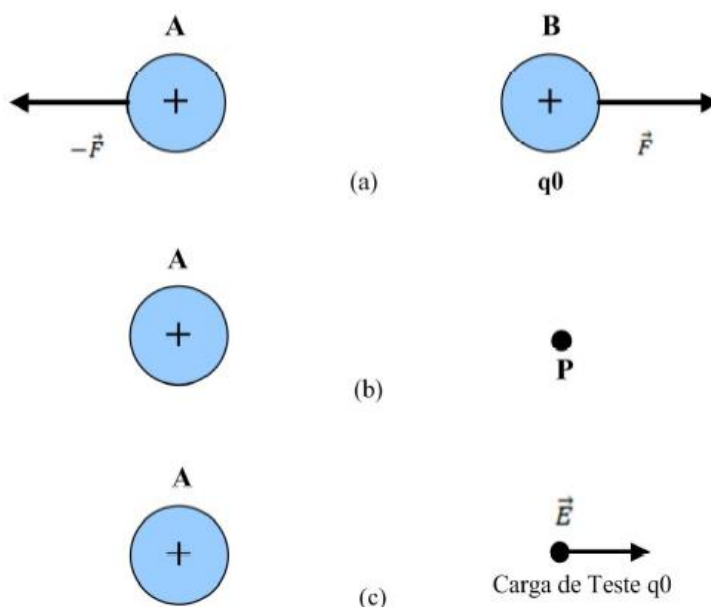


Figura 1.9 - Corpo carregado e o surgimento do campo elétrico

Assim, podemos definir o campo elétrico \vec{E} sendo igual a força elétrica \vec{F} que atua sobre uma carga q_0 , dividida por essa mesma carga, tal como:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

A unidade SI de campo elétrico é o *newton por coulomb* (N/C). Podemos observar que o campo elétrico é um vetor (tem módulo, sentido e direção), assim como a força elétrica, e que também obedece ao **princípio da**

superposição. Assim, o campo elétrico resultante de um sistema de cargas pode ser achado através do cálculo do campo elétrico provocado pelas cargas isoladamente e depois pela soma vetorial dos campos individuais.

Seja F_1, F_2 e F_3 a força elétrica gerada pelas cargas q_1, q_2 e q_3 respectivamente, devido à presença da carga de teste q_0 , tal como ilustrado na Figura 1.10.

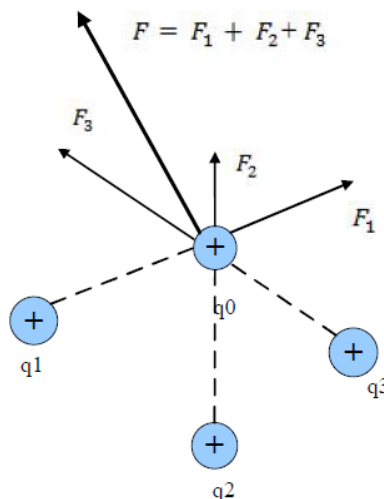


Figura 1.101 - Força resultante de um sistema de cargas

Cada carga produz um campo elétrico, designados por E_1, E_2 e E_3 , respectivamente, de forma que o campo elétrico total, no ponto P , da carga de teste q_0 , pode ser escrito da seguinte forma:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

1.5.1 - Linhas de Campo Elétrico

As linhas de campo elétrico indicam a direção e o sentido do campo elétrico em qualquer ponto e o espaçamento dessas linhas fornece uma ideia do módulo de, ou seja, no lugar onde existir um agrupamento de linhas, o campo elétrico é forte; caso contrário, é fraco (distância entre as linhas são grandes). Em qualquer ponto do espaço, o campo elétrico possui somente uma direção, ou seja, em cada ponto passa somente uma linha (Young, et. al., 2009).



Linhas de campo elétrico nunca se cruzam.

Em qualquer ponto, na vizinhança de uma carga positiva, o campo elétrico aponta radialmente para longe da carga, ou seja, é divergente, como ilustrado na Figura 1.11a. Caso a carga seja negativa, o campo elétrico aponta para a carga, há uma convergência das linhas de campo para a carga, como ilustrado na Figura 1.11b.

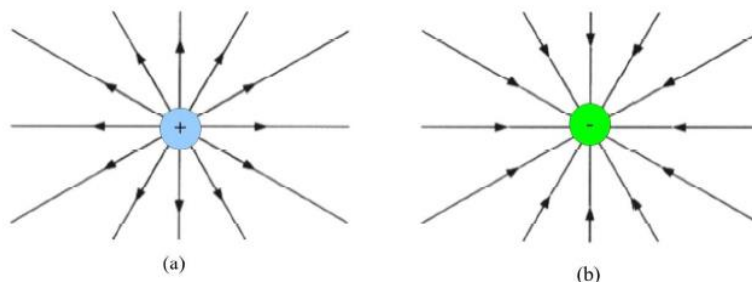


Figura 1.11 - Linhas de campo elétrico de uma carga positiva e de uma carga negativa

À medida que nos afastamos da carga, o campo elétrico fica mais fraco e as linhas se afastam umas das outras. A Figura 1.12a ilustra as linhas de campo de duas cargas positivas de mesmo módulo e a Figura 1.12b ilustra as linhas de campo de duas cargas de sinais contrários, porém de mesmo módulo. Nessa figura conseguimos ver claramente que as linhas de campo elétrico possuem sentido para fora das cargas positivas e entrando nas cargas negativas.

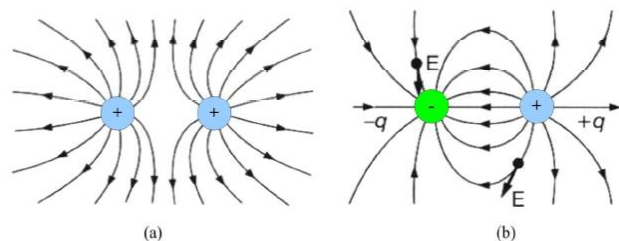





Figura 1.12 - Linhas de campo de elétrico na presença de duas cargas puntiformes

Também podemos analisar utilizando a Figura 1.12 que o campo elétrico possui módulo grande entre as duas cargas com sinais contrários e, módulo pequeno, entre as duas cargas positivas.

	<p>Assim, de acordo com (TIPLER, 1995) podemos resumir que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • as linhas de campo elétrico principiam nas cargas positivas e terminam na carga negativa; • o número de linhas de campo elétrico que convergem ou divergem de uma carga é proporcional à carga. • duas linhas de campo nunca se cruzam em um determinado ponto; • a densidade de linhas, em um determinado ponto, é proporcional ao valor do campo elétrico neste ponto, ou seja, em uma região de alta densidade de linhas, temos um alto valor do campo elétrico.
	<p>http://www.youtube.com/watch?v=7xPo2Nd4Ctk&feature=related</p>
	<p>Atividade de Aprendizagem</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 - Qual a estrutura do átomo? 2 - Quando podemos dizer que um corpo está eletricamente neutro? 3 - Quais são os processos de eletrização? Faça um quadro comparativo entre os processos. 4 - O que difere o condutor dos materiais semicondutores e isolantes? O que caracteriza o material ser um bom condutor? Faça uma analogia das bandas de energia dos três materiais. 5 - Cite cinco materiais que são bons condutores e cinco materiais isolantes. 6 - Descreva com suas palavras o que é a lei de Coulomb e como ela está relacionada com a definição do campo elétrico?

Resumo

Nesta aula você aprendeu qual a estrutura do átomo, qual a diferença dos materiais condutores, semicondutores e isolantes. Também aprendeu a calcular a força que uma carga exerce sobre outra carga, a determinar o campo elétrico e encontrar a representação de suas linhas.

Aula 2 - Conceitos Básicos da Eletricidade

Objetivos

Estudar a diferença entre corrente contínua e corrente alternada. Aprender força eletromotriz, potência e as características dos principais elementos de um circuito: resistência elétrica e capacitores. Compreender os conceitos de condutividade elétrica e de resistividade elétrica e como a resistividade pode variar com a temperatura.

2.1 - Corrente Contínua e Alternada

Nas aulas anteriores estudamos carga em repouso, porém para estudarmos corrente elétrica temos que trabalhar com carga em movimento, ou seja, com fluxo de carga elétrica. Assim, uma corrente elétrica é o movimento de cargas de uma região a outra num caminho fechado, onde podemos denominar esse caminho de circuito elétrico. De acordo com Young, *et al.* (2009), a corrente num condutor é provocada por um campo elétrico no interior do condutor o qual exerce uma força sobre as cargas livres. Um circuito elétrico nada mais é que um caminho para transferir a energia potencial elétrica de uma fonte até um dispositivo onde a energia será armazenada ou convertida em outra forma de energia (Young, *et al.*, 2009). Os circuitos elétricos são essenciais no nosso cotidiano, como por exemplo, para ligarmos um aparelho de som, uma televisão, dar partida em um carro, etc.

Assim, podemos definir a corrente elétrica como a taxa do fluxo de cargas elétricas através da área da seção reta de um determinado condutor, tal como:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Consideramos que ΔQ é a carga que passa pela área da seção reta A , como ilustrada na Figura 2.1, durante um intervalo de tempo.

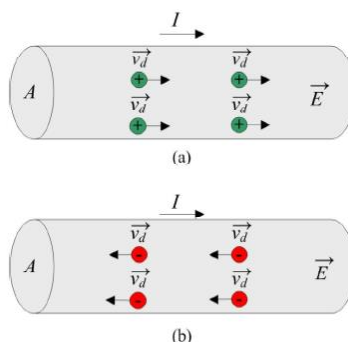


Figura 2.1 - Movimento de cargas positivas e negativas

Quanto maior a corrente elétrica, maior será a quantidade de carga que passa pela seção do condutor em um mesmo intervalo de tempo. A unidade SI de corrente é o *ampère* (A), ou seja, $1A = 1C/s$ (um *coulomb* por segundo).



<http://www.youtube.com/watch?v=7xPo2Nd4Ctk&feature=related>
http://www.youtube.com/watch?v=RH6B44_2KJg&NR=1

Também podemos definir a densidade de corrente elétrica J , que é a corrente que flui por unidade de área da seção reta A (ilustrada na Figura 2.1):

$$J = \frac{I}{A}$$

A unidade SI da densidade de corrente é (A/m^2).



Vamos considerar que a corrente nos fios do motor de arranque usado para dar partida em um automóvel é da ordem de 200A. Isso significa que a cada segundo, em uma determinada seção transversal A, passam 200 Coulombs de carga no fio. Quando lembramos que a carga do elétron é da ordem de $1,6 \times 10^{-19} C$, podemos imaginar quantos elétrons estão passando a cada segundo. Faça a conta.

Podemos exemplificar alguns valores de corrente que certos instrumentos suportam e que estão presentes em nosso dia a dia, tais como:

- Lâmpada comum: 0,5 a 2 A;
- Lanterna: 0,5 a 1 A;
- Ferro elétrico: 4 a 8 A;
- Chuveiro elétrico: 10 a 20 A.

Na prática podemos mensurar a valor da corrente elétrica utilizando um instrumento chamado de amperímetro o qual é inserido no circuito onde se deseja o valor da corrente.

A corrente elétrica pode ser classificada em corrente contínua e corrente alternada. Na corrente contínua os elétrons livres se movem em um único sentido, tal como ilustrado na Figura 2.2a. Neste caso, podemos exemplificar circuitos com pilhas e baterias. Quando a corrente elétrica se alterna, ao longo do tempo, regularmente entre dois níveis, temos a corrente alternada, como ilustrado na Figura 2.2b, e para exemplificar, podemos citar as instalações elétricas de nossa residência.

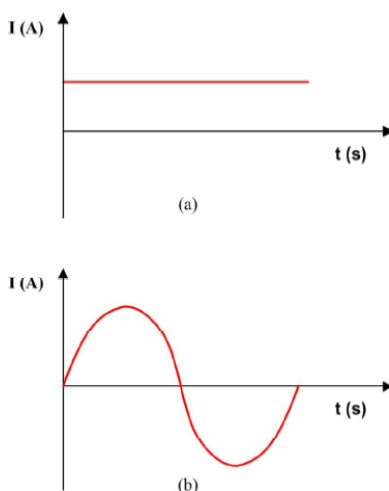


Figura 2.2 - Corrente alternada e contínua



http://www.youtube.com/watch?v=pT_DEQOTh4I&feature=related

2.2 - Força Eletromotriz

Para mantermos um valor de corrente elétrica em um condutor, devemos ter uma fonte de fornecimento de energia elétrica constante, também conhecida como força eletromotriz. Um exemplo de uma força eletromotriz (*fem*) é uma bateria que converte energia química em energia elétrica. A pilha nada mais é que a fonte de energia que permite o movimento das cargas, formando a corrente elétrica. Quando uma carga passa pela *fem* a sua energia potencial aumenta. A unidade da *fem* é o *volt* (V) que é a mesma unidade de diferença de potencial já apresentada anteriormente.

Para mensurar o valor da diferença de potencial em um determinado circuito utilizamos o aparelho conhecido como voltímetro, o qual é ligado em paralelo ao trecho do circuito onde se quer determinar o valor do potencial.

A Figura 2.3 ilustra os símbolos de fontes *fem*. O primeiro simboliza é o gerador de corrente alternada, o segundo simboliza gerador de corrente contínua ou bateria, e por último, temos uma fonte regulável de tensão.

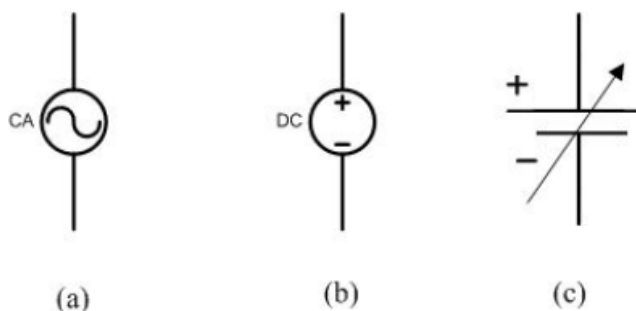


Figura 2.3 - Fontes *fem*

2.3 - Resistividade, Resistência e Lei de Ohm

2.3.1 - Resistividade

Podemos definir a resistividade de um determinado material como a razão entre o campo elétrico e a densidade de corrente J , tal como:

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Pelo SI a unidade da resistividade é igual a *ohm.metro* ($\Omega.m$), onde Ω é conhecido como *ohm*. Assim, quanto maior for a resistividade de um material maior será o campo elétrico necessário para produzir uma dada densidade de corrente. Neste caso, um isolante tem uma alta resistividade, e no caso do isolante perfeito, um valor de resistência infinita. Isso não acontece com os condutores, onde a resistividade é baixa.

Analisando a Tabela 2.1, podemos fazer uma analogia entre os valores de resistividade dos condutores, semicondutores e isolantes.

SUBSTÂNCIAS	$\rho(\Omega.m)$
Condutores	
Prata	$1,47 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,72 \times 10^{-8}$
Ouro	$2,44 \times 10^{-8}$
Alumínio	$2,75 \times 10^{-8}$
Tungstênio	$5,25 \times 10^{-8}$
Aço	20×10^{-8}
Chumbo	22×10^{-8}
Mercúrio	95×10^{-8}

Semicondutores	
Carbono puro (grafita)	$3,5 \times 10^{-5}$
Germânio puro	0,6
Silício puro	2300
Isolantes	
Âmbar	5×10^{14}
Vidro	$10^{10} - 10^{14}$
Lucita	$> 10^{13}$
Mica	$10^{11} - 10^{15}$
Quartzo (fundido)	75×10^{16}
Enxofre	1×10^{15}
Madeira	$10^8 - 10^{11}$

Tabela 2.1 - Valores de resistividade na temperatura ambiente

Observando esta tabela, podemos perceber que o valor da resistividade, por exemplo, do isolante vidro ($\rho = 10^{10}$) é muito maior que o valor da resistividade do cobre ($\rho = 1,72 \cdot 10^{-8}$), como já era de se esperar.

A resistividade elétrica de um bom condutor metálico geralmente aumenta com o aumento da temperatura. À medida que a temperatura aumenta, ocorre uma dificuldade do movimento dos elétrons dentro do condutor e, portanto, a corrente diminui.

2.3.2 - Resistência Elétrica

A facilidade que a corrente elétrica encontra, ao percorrer os materiais, é chamada de condutância. Essa grandeza é representada pela letra G.

Porém, em contrapartida a condutância, os materiais sempre oferecem certa dificuldade à passagem da corrente elétrica. Essa dificuldade que a corrente elétrica encontra ao percorrer um material é a resistência elétrica, normalmente representada pela letra R.

Todo o material condutor de corrente elétrica apresenta certo grau de condutância e de resistência. Quanto maior for a condutância do material, menor será sua resistência. Se o material oferecer grande resistência, proporcionalmente apresentará pouca condutância. A condutância é o inverso da resistência. A condutância e a resistência elétrica se manifestam com maior ou menor intensidade nos diversos tipos de materiais.

A unidade utilizada para medir a resistência é o OHM, representada pela letra Ω (lê-se ômega).

2.3.3 - Lei de Ohm

No século XIX, um filósofo alemão, Georg Simon Ohm, demonstrou experimentalmente a constante de proporcionalidade entre a corrente elétrica, a tensão e a resistência. Essa relação é denominada Lei de Ohm e é expressa literalmente como:

“A corrente em um circuito é diretamente proporcional à tensão aplicada e inversamente proporcional à resistência do circuito”.

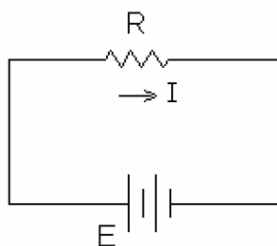


Figura 2.4 - Circuito simplificado

Assim para cada tensão aplicada num circuito teremos um resultado de corrente elétrica, isto tendo em vista um valor de resistência. Na forma de equação a Lei de Ohm é expressa como:

$$I = \frac{E}{R}$$

Aprenda a utilizar o triângulo das deduções da fórmula da lei de Ohm.

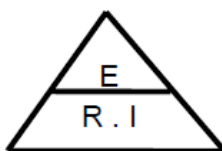


Figura 2.5 - Triângulo das deduções da Lei de Ohm

Vamos a um exemplo prático:

Você vai mudar de casa e deverá fazer as ligações dos aparelhos elétricos na nova residência: chuveiro, ferro de passar, etc. Começamos pela ligação do chuveiro: se o aparelho não tiver as características técnicas adequadas quanto à corrente, tensão e resistência, em função da rede elétrica de sua casa, poderão ocorrer alguns acidentes. Para evitar isso, vamos voltar ao esquema de ligação:

Qual seria a resistência do chuveiro, para ele poder funcionar dentro das condições ideais?

Qual a incógnita? Resistência

Vamos montar o triângulo:

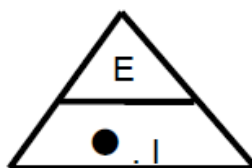


Figura 2.6 - Triângulo das deduções da Lei de Ohm: Resistência

Então, ficou $\frac{E}{I}$ substituindo estas letras pelos valores reais, teremos: $R = \frac{E}{I} = \frac{110}{20} = 5,5 \Omega$. O seu chuveiro deverá ter uma resistência de $5,5\Omega$ para 110 V. Se você for usá-lo em 220 V, ele terá que ter a resistência em dobro.

Vamos ao outro exemplo:

Você quer instalar um fusível ou disjuntor, para o seu ferro de passar. A tensão é de 110 V e sua resistência tem 25Ω . Qual seria a corrente elétrica em Ampères do ferro de passar?

Voltemos ao triângulo:

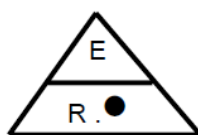


Figura 2.7 - Triângulo das deduções da Lei de Ohm: Corrente

Qual é a incógnita? Corrente elétrica.

No triângulo aparece $\frac{E}{R}$; então, $I = \frac{E}{R}$. Substituindo esses valores, temos: $I = \frac{E}{R} = \frac{110}{25} = 4,44A$.
Deveremos então usar um disjuntos de 05 Ampères.

Último exemplo:

Você pretende instalar uma rede nos fundos de sua casa.

- A corrente dos aparelhos deverá atingir 12 Ampères.
- A resistência dos condutores é de $0,25\Omega$ e você quer saber qual será a diferença de tensão, entre o começo e o fim da rede, ou a queda de tensão.

Use o triângulo, tapando a incógnita, aparece $R \times I$;

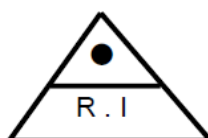



Figura 2.8 - Triângulo das deduções da Lei de Ohm: Tensão

então, a queda de tensão será:

$$E = R \cdot I$$

$$E = 0,25\Omega \cdot 12A = 3 \text{ Volts}$$

	Atividade de Aprendizagem
	<p>1 - Calcule:</p> <p>a) $R = 50\Omega$; $E = 10V$; $I = ?$</p> <p>b) $E = 3,5V$; $I = 5mA$; $R = ?$</p> <p>c) $E = 180V$; $R = 30\Omega$; $I = ?$</p> <p>d) $E = 220V$; $I = 4,4A$; $R = ?$</p>

2.4 - Unidades de Medida e Grandezas Elétricas

A Tabela 2.2 mostra as principais potências de 10 utilizadas para trabalhar com tensão, corrente, resistência e potência, e a Tabela 2.3 as grandezas mais utilizadas.

Tabela 2.2 - Prefixos de algumas potências

Prefixo	Símbolo	Fator de Multiplicação
Tera	T	10^{12}
Giga	G	10^9

Mega	M	10^6
Kilo	K	10^3
Mili	m	10^{-3}
Micro	μ	10^{-6}
Nano	N	10^{-9}
Pico	P	10^{-12}
Fento	f	10^{-15}
Atto	a	10^{-18}

Tabela 2.3 - Grandezas mais utilizadas

GRANDEZA	UNIDADE	X 1.000	X 1.000.000	$\div 1.000$	$\div 1.000.000$
Tensão	Volt (V)	kV	MV	mV	μ V
Corrente	Ampère	kA	MA	mA	μ A
Resistência	Ohm (Ω)	K Ω	M Ω	m Ω	$\mu\Omega$
Potência	Watt (W)	kW	MW	mW	μ W

Atividade de Aprendizagem

1 - Realize as conversões requeridas abaixo:

5.850.000W em MW

2,8 MW em W

45.000 mA em A

2 A em mA

0,00053 A em mA

270 kW em W

1470 W em kW

5,2 kW em W

870 kW em MW

2.318 mA em A

45.910 mA em A

28.700 V em kV

0,00196 V em mV

0,077 MW em W

180 mA em A

120mV em mV

250 MW em kW

0,017 kV em V



	0,000654 A em mA
	0,8 A em mA
	12.000.000 KW em MW
	14.800 V em kV
	40.890 mA em A
	1A em mA
	10A em mA
	1000W em kW

2.5 - Potência Elétrica

Se um trabalho está sendo executado em um sistema elétrico, uma quantidade de energia está sendo consumida. A razão em que o trabalho está sendo executado, isto é, a razão em que a energia está sendo consumida é chamada Potência.

$$\text{Potência} = \frac{\text{Trabalho}}{\text{Tempo}}$$

Em eletricidade, a tensão realiza trabalho de deslocar uma carga elétrica, e a corrente representa o número de cargas deslocadas na unidade de tempo. Assim em eletricidade:

$$\text{Potência} = \frac{\text{Trabalho}}{\text{Unidade de carga}} \cdot \frac{\text{carga movida}}{\text{Unidade de tempo}} = E \cdot I$$

A unidade fundamental de potência elétrica é o WATT

Fórmulas matemáticas relacionando Potência Elétrica.

$$P = E \cdot I$$

$$P = R \cdot I^2$$



http://www.youtube.com/watch?v=6Z_9g76QuJw&feature=related

2.6 - Considerações Finais Sobre a Lei de Ohm

A Lei de Ohm pode ser definida como a relação entre a Tensão, a Corrente e a Resistência em um circuito elétrico de corrente contínua. Ela pode ser definida como uma constante de proporcionalidade entre as três grandezas. Ela estabelece que:



A corrente elétrica em um condutor metálico é diretamente proporcional à tensão aplicada em seus terminais, desde que a temperatura e outras grandezas físicas forem constantes.

Com a passagem da corrente elétrica pelo condutor, há choques dos elétrons contra os átomos do material, com consequente aumento da temperatura (efeito Joule). Este fato acarreta dois fenômenos opostos no condutor: um aumento da energia de vibração dos átomos do material, opondo-se à corrente elétrica (aumento da resistência); e um aumento do número de cargas livres e também de suas velocidades, favorecendo a passagem de corrente elétrica (diminuição da resistência).

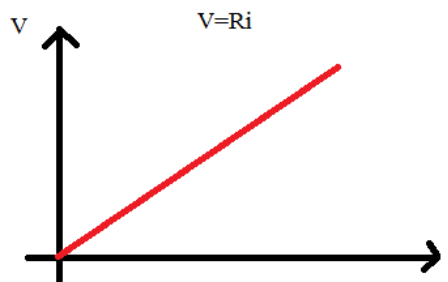



Figura 2.9 - Relação entre corrente e tensão em um circuito de corrente contínua

Quando os dois fenômenos se contrabalançam, o condutor é ôhmico ou linear, pois sua resistência permanece constante.

	<p style="text-align: center;">Atividade de Aprendizagem</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 - Qual a diferença entre corrente contínua e corrente alternada? 2 - Um material bom condutor tem alta condutividade ou resistividade? 3 - Qual a relação entre a resistividade de um material e a resistência elétrica? 4 - Um motor elétrico tem uma potência de 5,5 kW, e uma corrente de 50 A. Determine: <ol style="list-style-type: none"> a) A tensão V. b) A resistência do motor elétrico. 5 - Um aquecedor elétrico tem uma potência de 1000 W e está ligado a uma tensão de 110 V. Qual a corrente elétrica que passa no aquecedor? 6 - Defina a Lei de Ohm. 7 - Um aparelho elétrico quando em funcionamento, é percorrido por uma corrente de 20A, alimentado por 110V. Determine a potência elétrica consumida pelo aparelho. 8 - Um resistor de 200Ω de resistência elétrica dissipa a potência de 3200W. Calcule a intensidade corrente que o atravessa.
---	--

Resumo

Nesta aula você aprendeu a diferença entre corrente contínua e corrente alternada, bem como a definição de força eletromotriz, resistividade, resistência e potência. Aprendeu também quais são os principais elementos de um circuito e unidades de medida, além da Lei de Ohm.

Aula 3 - Introdução aos Circuitos de Corrente Contínua

Objetivos

Estudar os circuitos de corrente contínua, onde o sentido da corrente não varia com o tempo. Aprender como calcular um valor de tensão, corrente e resistência. Aprender a determinar a resistência equivalente e a capacitância equivalente os quais podem estar dispostos no circuito de forma paralela ou em série. Estudar quais são os instrumentos de medição utilizados para medir a corrente e a tensão no circuito.

3.1 - Associação de Resistores

3.1.1 - Associação em Série

Quando resistores são conectados de forma que a saída de um se conecte a entrada de outro e assim sucessivamente em uma única linha, diz-se que os mesmos estão formando uma ligação série. Neste tipo de ligação a corrente que circula tem o mesmo valor em todos os resistores da associação, mas a tensão aplicada se divide proporcionalmente em cada resistor.

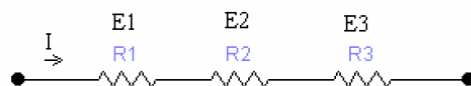


Figura 3.1 - Associação de resistores em série

Os resistores que compõem a série podem ser substituídos por um único resistor chamado de Resistor Equivalente.

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

$$R \cdot I = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I + R_3 \cdot I$$

Como a corrente é comum a todos os termos da equação ela pode ser simplificada (cortada) nos dois lados da igualdade:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

A R_{eq} de uma associação em série é igual à soma das resistências dos resistores.

3.1.2 - Associação em Paralelo

Quando a ligação entre resistores é feita de modo que o início de um resistor é ligado ao início de outro, e o terminal final do primeiro ao terminal final do segundo, caracteriza-se uma ligação paralela.

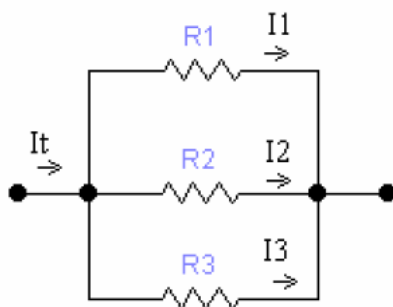


Figura 3.2 - Associação de resistores em paralelo

Neste tipo de ligação, a corrente do circuito tem mais um caminho para circular, sendo assim ela se divide inversamente proporcional ao valor do resistor. Já a tensão aplicada é a mesma a todos os resistores envolvidos na ligação paralela.

Analisando o circuito vemos que $I_T = I_1 + I_2 + I_3$. Pela Lei de Ohm temos que a corrente elétrica é igual a tensão dividido pela resistência, então:

$$\frac{E}{R} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$$

Como a tensão é a mesma, e é comum a todos os termos da igualdade, ela pode ser simplificada, restando então:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

O inverso da R_{eq} de uma associação em paralelo é igual à soma dos inversos das resistências dos resistores.

Para dois resistores em paralelo é possível calcular a R_{eq} através de outra fórmula simplificada:

$$R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

3.1.3 - Associação Mista

É o caso mais encontrado em circuitos eletrônicos. Neste caso há resistores ligados em série e interligados a outros em paralelo. Para se chegar a R_{eq} , faz-se o cálculo das associações série e paralelo ordenadamente, sem nunca “misturar” o cálculo, ou seja, associar um resistor em série a outro esteja numa ligação paralela.

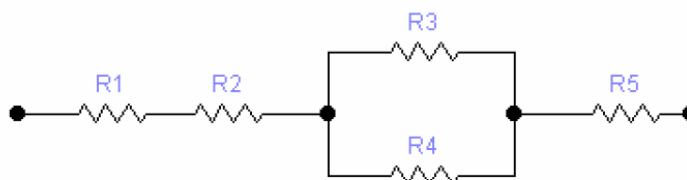


Figura 3.3 - Associação mista de resistores

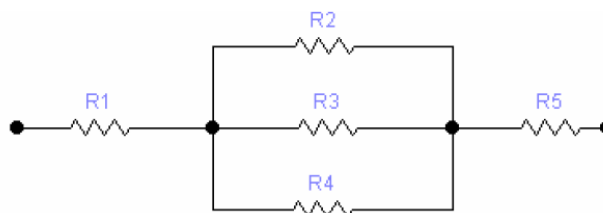
Atividade de Aprendizagem

1 - Calcule a resistência equivalente dos circuitos abaixo.

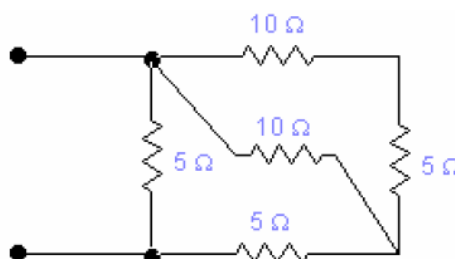
a) Dados: $R_1=2W$; $R_2=6W$; $R_3=2W$; $R_4=4W$; $R_5=3W$



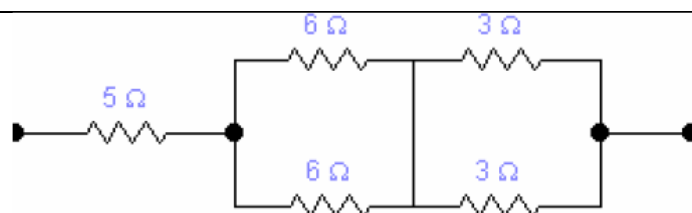
b) Dados: $R_1=R_5=4W$; $R_2=R_3=R_4=3W$



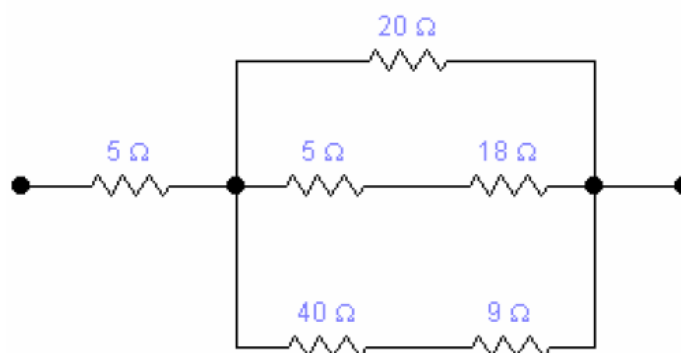
c)



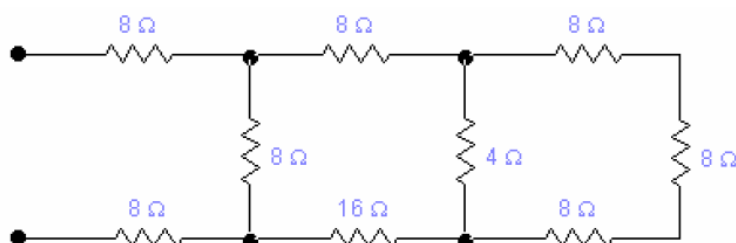
d)



e)



f)



2 - Calcule os valores das variáveis dependentes:

- a) $E = 120 \text{ V}$; $P = 60 \text{ W}$; $I = ?$; $R = ?$
- b) $E = 8 \text{ V}$; $I = 0,2 \text{ A}$; $P = ?$; $R = ?$
- c) $R = 2.000 \Omega$; $E = 40 \text{ V}$; $I = ?$; $P = ?$

3 - Quatro resistores estão conectados em série. Se a resistência equivalente é 49Ω , qual o valor de cada resistor?

3.2 - Lei de Ohm em Circuitos com Resistência em Série

A corrente elétrica é a mesma em todas as resistências, e a tensão elétrica se dividirá proporcionalmente ao valor das resistências.

3.3 - Aplicação da Lei de Ohm em Circuitos Resistências em Paralelo

A tensão elétrica será a mesma em todas as resistências, e a corrente elétrica se dividirá inversamente proporcional ao valor da resistência.



<http://www.youtube.com/watch?v=tmUU1b3KWNw&feature=related>

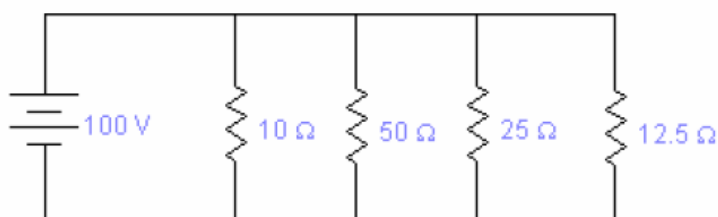
<http://www.youtube.com/watch?v=5xGH1i2ke8k&NR=1>



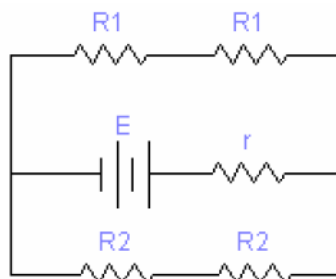
Atividade de Aprendizagem

1 - Um resistor de 10Ω ; outro de 15Ω e um de 30Ω são conectados em série com uma fonte de 120 V . Qual a R_{eq} ? Qual a corrente que circula no circuito? Qual a potência dissipada por cada resistência?

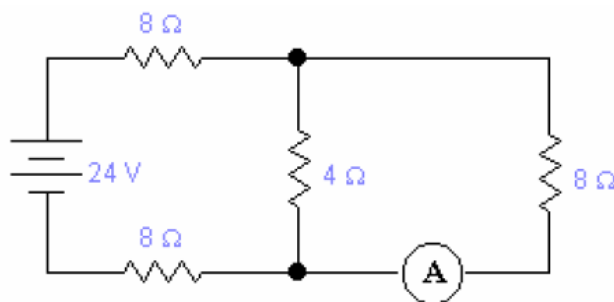
2 - Qual a corrente total fornecida pela bateria no circuito abaixo e a potência dissipada em cada resistor?



3 - Para o circuito abaixo onde $E=12\text{V}$, $r=2\Omega$, $R_1=20\Omega$, $R_2=5\Omega$, calcule e intensidade de corrente que passa pela fonte.



4 - Qual a corrente que indicará o amperímetro ideal no circuito abaixo:



5 - Quatro lâmpadas idênticas L , de 110V , devem ser ligadas a uma fonte de 220V , a fim de produzir, sem queimar, a maior claridade possível. Qual a ligação mais adequada?

6 - Numa indústria de confecções abastecida por uma rede de 220V , é utilizado um fusível de 50A para controlar a entrada de corrente. Nessa indústria existem 100 máquinas de costura, todas ligadas em paralelo. Se a resistência equivalente de cada máquina é 330Ω , qual o número máximo de máquinas que podem funcionar simultaneamente?

7 - Uma lâmpada de filamento dissipa a potência elétrica de 60W quando ligada em 110V. Calcule a resistência elétrica do filamento.

8 - Um aparelho elétrico quando em funcionamento, é percorrido por uma corrente de 20A, alimentado por 110V. Determine a potência elétrica consumida pelo aparelho.

9 - Um resistor de 200Ω de resistência elétrica dissipa a potência de 3.200W. Calcule a intensidade corrente que o atravessa.

3.4 - Capacitores

O capacitor é um dispositivo que armazena energia potencial elétrica e carga elétrica. É constituído por duas placas condutoras separadas por um isolante. Para armazenar energia é necessário que exista uma transferência de cargas de um condutor para o outro, de modo que, um fique com carga positiva e o outro com carga negativa. Assim, é necessário realizar um trabalho para deslocar essas cargas até que uma diferença de potencial seja estabelecida entre os condutores.

O capacitor pode ser representado tal como ilustrado na Figura 3.4, onde, as duas linhas horizontais representam os condutores, e o espaço entre os condutores, o isolante.

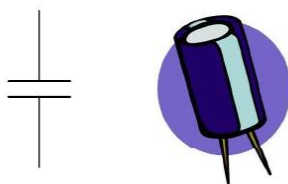


Figura 3.4 - Capacitor

Quando uma placa condutora adquire carga positiva $+Q$ e a outra carga negativa Q uma diferença de potencial é estabelecida entre os condutores, assim, podemos definir a capacitância, que nada mais é que a razão entre a carga e o potencial, como representada na equação abaixo:

$$C = \frac{Q}{V}$$

A unidade SI da capacitância é o *farad* (F). Um *farad* é igual a um *coulomb* por volt (C/V).

Assim, a capacitância é a capacidade de armazenamento de energia de um capacitor, pois quanto maior a capacitância, maior a carga e a energia armazenada. Essa energia armazenada está relacionada com o campo elétrico existente entre os condutores o qual é essencialmente uniforme e as cargas são distribuídas uniformemente sobre as placas.

3.4.1 - Capacitância

Propriedade de um circuito se opor a qualquer variação de tensão no circuito. Alternativamente, capacitância é a capacidade de um circuito elétrico armazenar energia em um campo eletrostático.

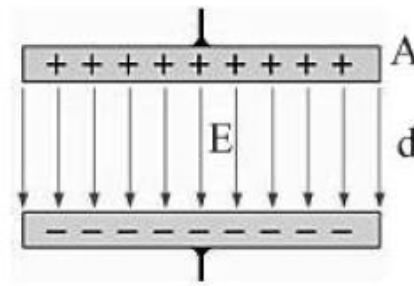


Figura 3.5 - Capacitor ideal

A capacitância é determinada pelos fatores geométricos A (área) e d (distância) das placas que formam o capacitor. Quando a área das placas é aumentada, aumenta a capacitância. Da mesma forma quando a separação entre as placas aumenta, a capacitância diminui. Então temos que:

$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}$$

Onde:

C =capacitância em *Farad*;

A =área das placas em m^2 ;

d =distância entre as placas em m ;

ε =permissividade.

3.4.2 - Força Exercida por Duas Cargas

Pelos conceitos da eletrostática, cargas iguais se repelem, e cargas diferentes se atraem. A força exercida entre elas é dada pela Lei de Coulomb como:

$$F = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

Onde:

F é a força, dada em Newton;

Q_1 e Q_2 são quantidade de carga elétrica, em Coulomb;

d é a distância, em metro;

k é a constante dielétrica (k do ar = 9×10^9)

3.4.3 - Materiais Dielétricos

Isolantes ou dielétricos são caracterizados pelo fato de possuírem poucos elétrons livres, isto é, os elétrons estão fortemente ligados ao núcleo. Sem a aplicação de um campo elétrico, um átomo dielétrico é simétrico, mas na presença de um campo elétrico os elétrons se deslocam de forma a ficarem próximos da carga positiva do campo elétrico.

Uma medida de como as linhas de força são estabelecidas em um dielétrico é denominada permissividade. A permissividade absoluta (ε) é a relação entre a densidade de fluxo no dielétrico e o campo elétrico sobre o mesmo.

A constante dielétrica então é a relação entre permissividade de um material e a permissividade do vácuo, e é definida como:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

3.4.4 - Representação Gráfica da Capacitância

Existe uma relação entre a tensão aplicada entre duas placas paralelas separadas por um dielétrico, e a carga que aparece nestas placas. Analise o circuito abaixo:

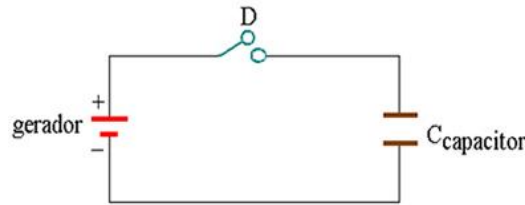


Figura 3.6 - Circuito capacitivo simples

Ao fecharmos a chave, circulará uma corrente da fonte para as placas, no início alta. Quando houver um equilíbrio de cargas, isto é $E=v$, a corrente I tenderá a zero. Este processo é chamado “carga”, e leva um tempo muito pequeno.



<http://www.youtube.com/watch?v=GpEwamRX-6M&feature=related>
<http://www.youtube.com/watch?v=r5UrM79CmDI&NR=1?>

3.5 - Associação de Capacitores

3.5.1 - Associação em Série

Quando os capacitores são conectados em série, a fem “ E ” é dividida pelos capacitores, e a capacitância equivalente ou total C_t , é menor que o menor dos capacitores. Todos os capacitores adquirem a mesma carga elétrica; ou seja; $Q_1 = Q_2 = Q_3$. A tensão total é igual a $E_t = E_1 + E_2 + E_3$. Logo, capacitância equivalente para capacitores em série é definida por:

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

3.5.2 - Associação em Paralelo

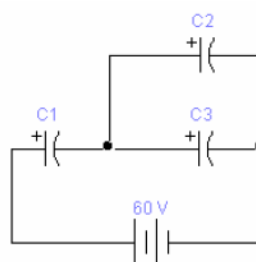
Quando dois capacitores são conectados em paralelo, a carga total adquirida pela combinação é dividida pelos capacitores da associação, e a capacitância total é a soma das capacitâncias individuais.

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

Atividade de Aprendizagem

1 - Dados $C_1 = 12 \mu F$, $C_2 = 6 \mu F$, $C_3 = 30 \mu F$; Calcule:

- capacitância total
- a carga em cada capacitor
- a tensão sobre cada capacitor

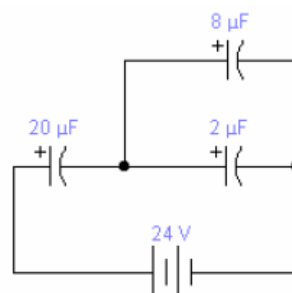


2 - Qual a capacitância total de quatro capacitores de $20\mu\text{F}$ conectados:

- a) em série
- b) em paralelo

3 - No circuito ao lado, calcule:

- a) a capacitância total;
- b) a tensão em cada capacitor;
- c) a carga em cada capacitor.



Resumo

Nesta aula você conheceu os circuitos em corrente contínua: circuitos com resistores e capacitores em série, em paralelo e circuitos mistos. Além disso, conheceu a Lei de Ohm e suas aplicações nos cálculos de circuitos em corrente contínua.

Aula 4 - Eletromagnetismo

Objetivos

Estudar o magnetismo que está presente em vários mecanismos no nosso dia a dia, tais como: máquinas elétricas, computadores, micro-ondas, etc. Compreender os conceitos de força magnética e fluxo magnético, bem como estudar várias aplicações do campo magnético.

4.1 - Campo Magnético

O Magnetismo é a interação produzida por cargas elétricas em movimento. Um campo magnético é criado por um ímã permanente, por uma corrente elétrica em um condutor ou por qualquer carga em movimento (Young, et al., 2009). Todos nós já fizemos uma experiência em casa ou na escola com dois ímãs permanentes, observado que um deles exerce uma força sobre o outro ou sobre um pedaço de ferro não imantado onde, nesse caso, podemos exemplificar os ímãs que colocamos na porta da geladeira. Podemos fazer uma analogia com as cargas elétricas que já estudamos anteriormente, onde no estudo

do magnetismo temos os polos norte e sul que podem se atrair ou repelir, tal como ilustrado na Figura 4.1.

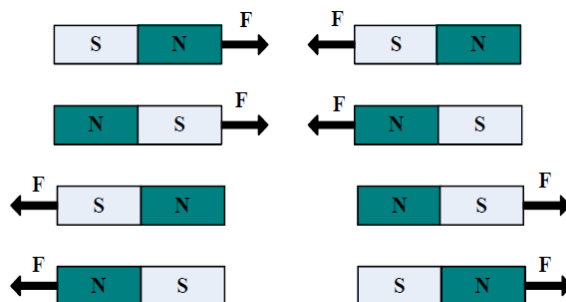


Figura 4.1 - Polos do ímã permanente

Analizando essa figura vemos que um ímã permanente tem um polo norte e um polo sul e que existe uma força de atração quando os polos não são coincidentes (norte-sul e sul-norte). Existe, também, uma força de repulsão quando os polos são coincidentes (norte-norte e sul-sul). Assim, o ímã cria um campo magnético ao seu redor e uma ação é gerada em outro ímã.

Uma carga em movimento ou uma corrente elétrica gera um campo magnético ao seu redor o qual pode ser designado por \vec{B} . Por sua vez, esse campo exerce uma força \vec{F} sobre qualquer outra corrente ou carga que se mova no interior do campo. Essa força não possui a mesma direção do campo magnético, ou seja, eles estão perpendiculares (Young, et al., 2009).

Como já visto anteriormente para o campo elétrico, podemos também ilustrar as linhas do campo magnético, por exemplo, de um ímã permanente e de um fio retilíneo que conduz uma corrente I . As linhas formam curvas fechadas. Para o exemplo do ímã, as curvas emergem do polo norte e entram no polo sul, tal como ilustrado na Figura 4.2a e para o fio retilíneo as linhas de campo são tangente à circunferência de um círculo, com centro no condutor, tal como Figura 4.2b.

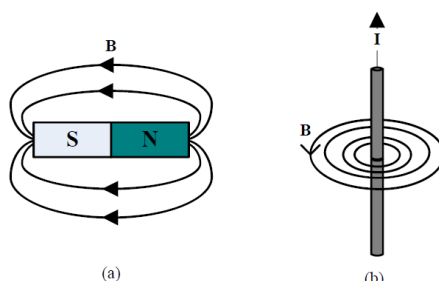


Figura 4.2 - Linhas de campo magnético de um ímã permanente e um condutor retilíneo

A direção do campo está indicada pela direção das linhas e o módulo está representado pela densidade das linhas.

Também como forma de ilustração, podemos visualizar as linhas do campo magnético do planeta terra, tal como a Figura 4.3. O polo magnético ártico da terra é considerado polo sul de um ímã, devido à atração norte-sul, e o polo magnético antártico da terra é considerado polo norte de um ímã, devido à atração sul-norte.

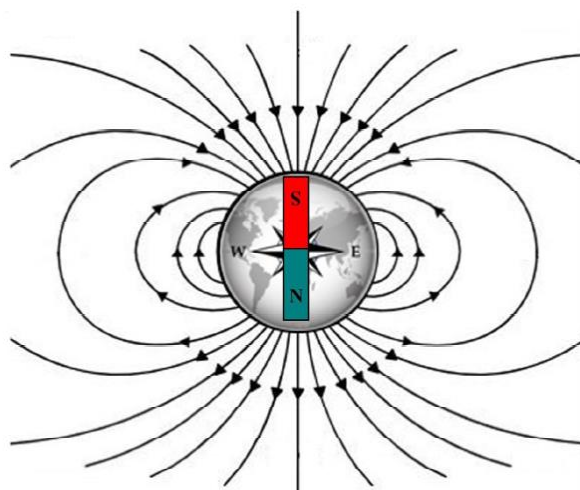


Figura 4.3 - Linhas de campo magnético do planeta terra.



<http://www.youtube.com/watch?v=9SyLGsBBdVE>

4.2 - Força Magnética

O módulo da força sobre uma carga q que se desloca com certa velocidade em um campo magnético pode ser definida como:

$$F = |q| \cdot v \cdot B \cdot \sin\phi$$

onde, $|q|$ é o módulo da carga, ϕ é o ângulo entre os vetores \vec{v} (velocidade) e \vec{B} . A Figura 4.4a ilustra o sentido de cada variável. A força sempre estará perpendicular ao plano da velocidade e do campo magnético, que matematicamente pode ser expressa da seguinte forma:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \cdot \vec{B}$$

A força tem módulo, direção e sentido.

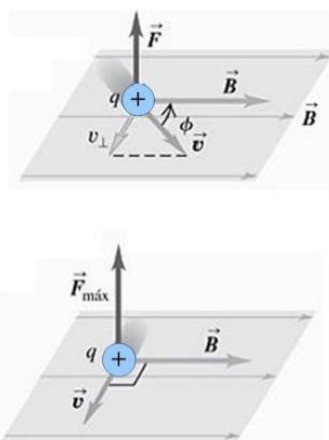


Figura 4.4 - Força magnética

Também analisando a Figura 4.4b podemos perceber que quando o ângulo ϕ for 90° a força será máxima, pois $\sin 90^\circ$ é igual a 1.



Para determinar o sentido e a direção da força magnética devemos utilizar a regra da mão direita, tal como:

- 1 - Abra a mão direita com o polegar para cima;
- 2 - Coloque o campo magnético saindo da palma da mão e a velocidade na direção dos dedos (indicador, médio, anelar e mindinho) da mão.
- 3 - A velocidade gira no sentido do campo magnético;
- 4 - O dedo indicador da mão direita representa a direção e o sentido da força.

Agora você já está apto a determinar o sentido e a direção da força magnética. A Figura 4.5 ilustra claramente como determinar essa força. As unidades SI do campo magnético é igual a tesla (T).

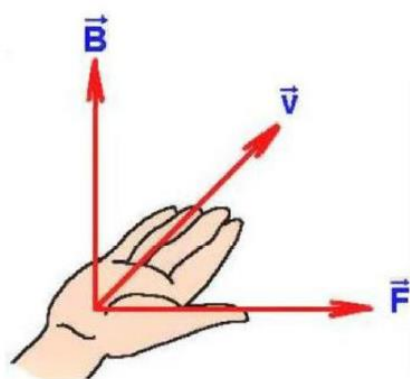


Figura 4.5 - Direção e sentido da força magnética



Existem duas diferenças importantes entre as linhas de campo elétrico e as linhas de campo magnético, quais sejam (Tipler, 1995):

- 1 - A força elétrica que atua em uma carga elétrica positiva está na direção do campo elétrico e, conseqüentemente, na direção das linhas do campo elétrico. A força magnética sobre uma carga em movimento é perpendicular ao campo elétrico.
- 2 - As linhas de campo elétrico iniciam em cargas positivas e terminam em cargas negativas. As linhas de campo magnético são curvas fechadas. Para um ímã permanente, as linhas de campo magnético emergem do polo norte e entram no polo sul.



<http://www.youtube.com/watch?v=DJBu0WGPw4U&feature=fvw>>

4.3 - Fluxo Magnético

A concentração de linhas em uma determinada região pode ser definida como o fluxo do campo magnético o qual é designado pela letra Φ . O fluxo é uma grandeza escalar. Quando o campo magnético \vec{B} for uniforme sobre uma superfície plana de área A , temos:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\phi$$

A unidade SI de fluxo magnético é conhecida como *weber* (Wb).

4.4 - Aplicação do Campo Magnético

4.4.1 - Campo Magnético de uma Carga em Movimento

O módulo do campo magnético \vec{B} produzido por uma carga puntiforme q que se desloca com velocidade constante \vec{v} , em um determinado ponto P , é igual a:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{|q| \cdot v \cdot \sin\phi}{r^2}$$

Onde, $\frac{\mu_0}{4\pi}$ é uma constante de proporcionalidade.

A permeabilidade magnética (μ_0) é uma grandeza característica de cada material e indica a aptidão deste material em reforçar um campo magnético externo. Seu valor para o vácuo é igual a:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$$

A unidade de permeabilidade magnética no SI é *henry* por metro (H/m).

A Figura 4.6 ilustra o vetor campo magnético produzido por uma carga puntiforme em movimento, onde a distância da carga puntiforme ao ponto P (onde se quer determinar o campo magnético) é igual a r .

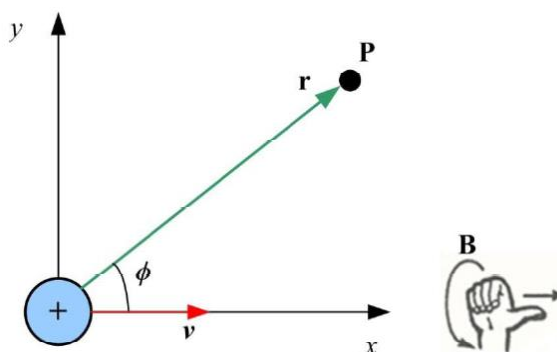


Figura 4.6 - Campo magnético de uma carga puntiforme em movimento

4.4.2 - Campo Magnético de um Condutor Retilíneo Transportando uma Corrente

Para determinar o módulo do campo magnético \vec{B} de um condutor retilíneo que transporta uma corrente I , como ilustrado na Figura 4.7, em qualquer ponto ao longo de uma circunferência de raio r centralizada no condutor, temos:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r}$$

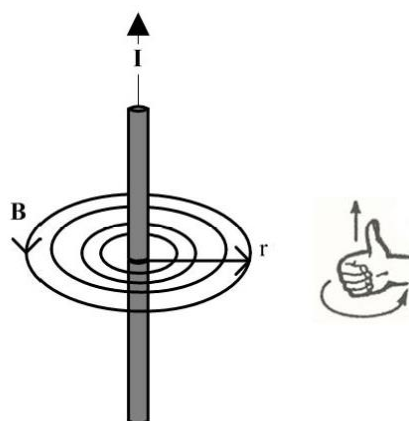


Figura 4.7 - Campo magnético de um condutor retilíneo



<http://www.youtube.com/watch?v=8hXwViR6NuY&feature=related>

4.4.3 - Campo Magnético de uma Espira Circular

Seja uma bobina circular de raio a que transporta uma corrente I , como ilustrado na Figura 4.8.

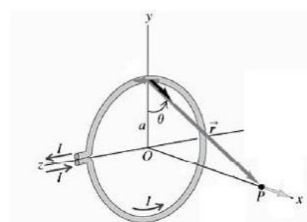
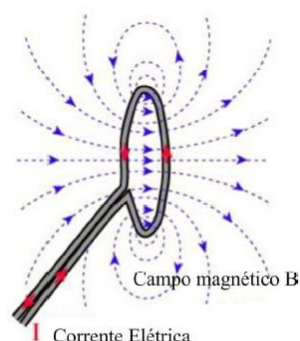


Figura 4.8 - Campo magnético de uma espira circular

De acordo com essa figura podemos determinar o módulo do campo magnético no centro da espira de raio igual a a , como se segue:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2a}$$

4.4.4 - Campo Magnético de um Solenoide

O solenoide pode ser identificado como uma hélice cilíndrica com as espiras muito próximas, tal como ilustrado na Figura 4.9a, com comprimento L , constituída por N espiras condutoras e transportando uma

corrente I . O solenoide tem um papel similar ao do capacitor de placas paralelas, já visto anteriormente, pois o capacitor tem um campo elétrico uniforme e intenso entre as placas. No caso do solenoide obtemos um campo magnético uniforme e intenso no espaço interno das espiras, tal como ilustrado na Figura 4.9b.

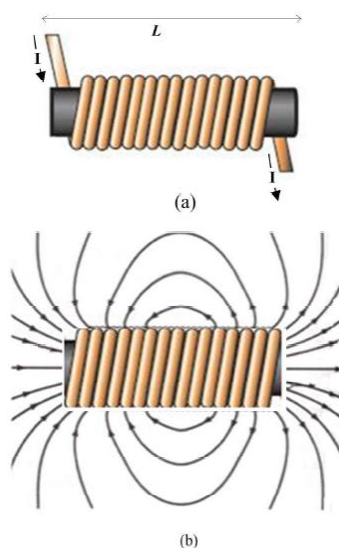


Figura 4.9 - Solenoide e campo magnético no solenoide

Para fins de simplificação do cálculo do módulo do campo magnético, vamos considerar o comprimento do solenoide L bem maior que o seu diâmetro. Assim, vamos obter:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{L}$$



<http://www.youtube.com/watch?v=4Ez42Xk261o&feature=related>
<http://www.youtube.com/watch?v=G9G1w3BUTAQ&NR=1>

4.4.5 - Campo Magnético de um Solenoide Toroidal

O solenoide é constituído por um toro o qual contém N espiras enroladas sobre ele que transporta uma corrente igual a I , tal como ilustrado na Figura 4.10a.

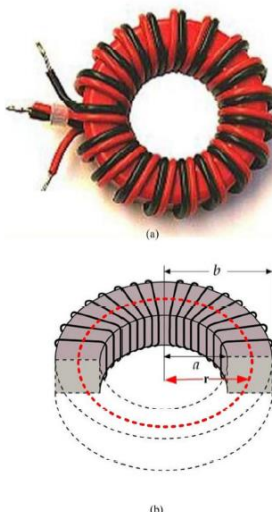


Figura 4.10 - Solenoide toroidal

Seja a e b os raios internos e externos do solenoide, respectivamente, tal como ilustrado na Figura 4.10b, e r o raio médio do núcleo. O módulo do campo magnético pode ser determinado pela seguinte equação:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2\pi r}$$



<http://www.youtube.com/watch?v=edqGNOw1GM&feature=related>

Resumo

Nesta aula você aprendeu o conceito e como determinar o campo magnético, a força magnética e o fluxo magnético. Também aprendeu a encontrar a representação das linhas do campo magnético e estudou várias aplicações desse campo.



Atividade de Aprendizagem

- 1 - O que gera um campo magnético?
- 2 - Quais as principais diferenças entre as linhas de campo elétrico e campo magnético?
- 3 - Para que a força magnética seja máxima, qual deve ser o ângulo entre o campo magnético e a velocidade. Explique.
- 4 - Calcule o módulo do campo magnético no centro de uma espira de raio a , que transporta uma corrente I igual a 4 A. Seja o raio a igual a 2 cm.
- 5 - Assinale a alternativa correta:
A intensidade do campo magnético produzido no interior de um solenoide muito comprido percorrido por corrente depende:
 - a) só do número de espirais do solenoide;
 - b) só da intensidade da corrente;
 - c) do diâmetro interno do solenoide;
 - d) do número de espiras por unidade de comprimento e da intensidade da corrente;
 - e) do comprimento do solenoide.
- 6 - Qual o número de espiras de um toróide que contém um campo magnético igual a 1 T, com raio r igual a 3 cm e corrente I igual a 2 A.

5 - Referências

- BOYLESTAD, Robert, L. **Introdução à Análise de Circuitos**. São Paulo: Editora LTC, 10ª ed. 2004.
- FIEB. Federação das Indústrias do Estado da Bahia. **Eletricidade Básica**. 48 p.
- MALVINO, Albert P. **Eletrônica, Volume 1** Cidade: São Paulo. Editora Makron Books, 4ª ed., 2001.
- HAYT, William H. Jr.; BUCK, John A. **Eletromagnetismo**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 6ª ed., 2003.
- TIPLER, Paul. **Física, Volume 3**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 3ª ed., 1995.
- YOUNG, Hugh D.; FREEDAMAN, Roger A. **Física III Eletromagnetismo**. São Paulo: Editora Pearson Education, 12ª ed., 2009.